

В болотных водах низкогорных ТБЭС (Северо-Восточная Алтайская провинция) отмечаются повышенные содержания NO_3^- ионов, нитрит-ионов NO_2^- и пониженные содержания этих компонентов в водах высокогорных ТБЭС.

Таким образом, болотные воды исследуемых ТБЭС Алтайской горной области являются менее кислыми относительно болотных вод Западной Сибири, характеризуются повышенным содержанием Ca^{2+} , пониженным средним содержанием ионов Mg^{2+} при схожем интервале содержаний (1,2-54,5 мг/л) с болотными водами эвтрофных массивов Западной Сибири, и низким содержанием общего Fe. Болотные воды низкогорных ТБЭС сопоставимы по содержанию HCO_3^- ионов с западносибирскими водами, высокогорные ТБЭС имеют повышенные показатели этого компонента.

Для горных болотных вод характерно в целом меньшее содержание органических веществ, большая изменчивость в количестве фульвокислот, при средней величине 22,8 мг/л, сопоставимой с западносибирскими болотными водами [6] и пониженным средним содержанием ГК - 5,6 мг/л.

Литература

1. Базин Е.Т., Копенкин В.Д., Косов В.И. и др. Технический анализ торфа. М.: Недра, 1992. 431 с.
2. Достовалова М.С. Режимобразующие факторы криогенно-напорного подтопления территории с. Кош-Агач // Природные ресурсы Горного Алтая. 2006. № 1(5).
3. Инишева Л.И., Шурова М.В., Ларина Г.В. Перспектива мелиорации торфяных болот в Горном Алтае // Мелиорация и водное хозяйство. 2008. № 1. С. 41-45.
4. Наплекова Н.Н., Клевенская И.Л., Гантимурова Н.И. Микрофлора основных типов почв Горного Алтая // Вопросы развития сельского хозяйства Горного Алтая. Новосибирск: Наука, 1968. С. 125-133.
5. Почвы Горно-Алтайской автономной области // Под ред. Р.В. Ковалева. Новосибирск: Наука, 1973. 352 с.
6. Рассказов Н.М. Основные особенности химического состава болотных вод (на примере юго-восточной части Западной Сибири) // Известия ТПУ. 2005. Т. 308. № 4. С. 55-58.
7. Унифицированные методы исследования качества вод. М., 1983. Т.2. Ч.1. 195 с.
8. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза // М.: Недра, 1998. 367 с.
9. Шурова М.В., Инишева Л.И., Ларина Г.В., Орт О.А. Физико-химические и биологические свойства болотных образований // Вестник ТГПУ. 2009. № 3. С. 95-101.

ЗОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БОЛОТНЫХ И ОЗЕРНЫХ ВОД ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ ГУМИДНЫХ К АРИДНЫМ ЛАНДШАФТАМ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

О.С. Наймушина^{1,2}, М.Н. Колпакова^{2,3}

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия, E-mail: olgnaim@mail.ru*

² *Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской Академии наук, Новосибирск, Россия*

³ *Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения Российской Академии наук, Томск, Россия, E-mail: marina.kolpakova@gmail.com*

Аннотация. Юг Западной Сибири является уникальной территорией, здесь расположено более 12000 озер. Кроме того, этот регион характеризуется высокой заболоченностью, достигающей до 90% на севере. Такие болотные и озерные системы способны накапливать различные природные и техногенные ресурсы, в том числе микроэлементы и органические вещества. В данной статье представлены результаты 5-летнего мониторинга химического состава поверхностных вод в этом районе. Полученные данные позволяют сделать вывод, что химический состав болотных и озерных вод предопределяется их расположением в различных

ландшафтных зонах и подчинен зональному распределению таких крупных элементов ландшафта, как влажность, испарение, количество подземного водного стока и т.д.

Abstract. The south of Western Siberia is a unique territory where more than 12000 water reservoirs are located. Moreover, this region is characterized by high bogginess that can reach 90% in the north. Such bog and lake systems are able to accumulate different natural and technogenic resources, including trace elements and organic matter. This article presents the results of chemical composition of surface water in this area along a 5-year monitoring. The obtained data allow us to conclude that dynamics of bog and lake water chemistry is predetermined by their location in various landscape zones and subordinated to zonal distribution of such major landscape elements as moistening, evaporation, rate of underground water flow, etc.

Введение

Характеризуемая территория является одной из самых заозеренных в России. На ее равнинах - Васюганской (в границах Томской области), Барабинской и Кулундинской - весьма отчетливо выражена широтная зональность. Процессы, вызванные действием зональных закономерностей в сочетании с локальными факторами (изменения в рельефе, перепады гипсометрических уровней, геологическое строение и т.д.), обуславливают выделение в пределах региона трех ландшафтных зон - лесной, лесостепной и степной.

Поверхностные водоемы представляют собой аккумулятивные системы, где концентрируется широкий спектр элементов. Соотношение этих элементов различно в разнотипных объектах, а также в различных ландшафтах. Считается, что доминирующий химический тип воды зависит от климатических и геоморфологических факторов (осадки, испарение, водообмен и т.д.), влажности и температуры, биологической продуктивности водоемов [8, 9, 11, 12]. В связи с этим, главной целью данной работы является выявление зональных особенностей химического состава болотных и озерных вод юга Западной Сибири при смене ландшафтных зон от лесной к лесостепной и степной.

Климатические особенности исследуемой территории

Наибольшее количество осадков в Западной Сибири приходится на лето и приносится воздушными массами с Атлантики. С мая по октябрь в Западной Сибири выпадает до 70-80% годового количества осадков. Количество зимних осадков весьма мало и составляет от 5 до 20-30 мм/месяц. Территория характеризуется большими колебаниями количества осадков в разные годы. Даже в лесной зоне, где эти изменения проявляются меньше, чем в других областях, количество осадков колеблется от 339 мм в засушливый год до 769 мм во влажный (Томская область). Особенно большие различия наблюдаются в степной зоне, где количество осадков во влажные годы уменьшается до 550-600 мм/год и достигает лишь 170-180 мм/год в сухие.

Существуют существенные зональные различия в испарении: лесостепная зона характеризуется высоким уровнем испарения (350-400 мм/год). На севере, где летом влажность относительно велика, количество испарения не превышает 150-200 мм/год. Примерно такое же испарение на юге степной зоны (200-250 мм), что объясняется уже небольшим количеством осадков. Тем не менее, степень испарения достигает здесь 650-700 мм; поэтому в некоторые месяцы (особенно в мае) количество испаряющейся влаги может превышать сумму осадков в 2-3 раза. Отсутствие осадков компенсируется в данном случае почвенным запасом влаги, накопленным после осенних дождей и таяния снега [1].

Методы

Опробование болотных и озерных вод на территории исследований (рис. 1) выполнялось в ходе полевых исследований в теплый период (май-сентябрь) 2011-2015.

Наиболее чувствительные параметры (рН, температура, электропроводимость и окислительно-восстановительный потенциал) измерялись на точке с помощью анализатора WATER TEST, Hanna Instruments. Анализ вод осуществлялся в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НОЦ "Вода" Томского политехнического университета. Анализ микроэлементов проводился в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН, г. Новосибирск и Аналитическом центре Института геохимии СО РАН, г. Иркутск. Применяемые методы подробно описаны в предыдущих исследованиях [10, 13].

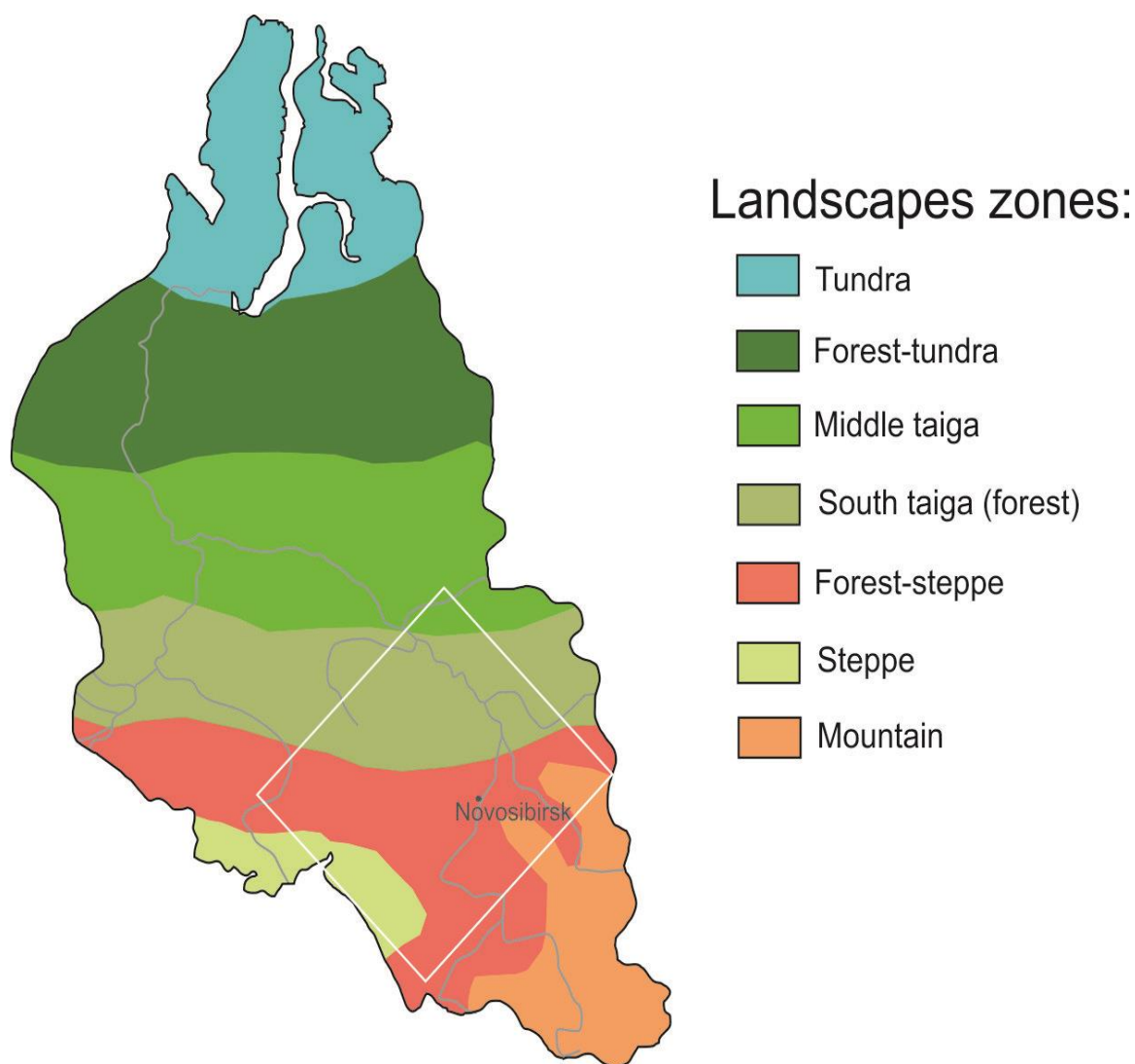


Рисунок 1. Схема ландшафтов Западной Сибири с указанием местоположения района исследования (белый контур)

Химический состав болотных и озерных вод

Лесная зона

Специфической особенностью данной ландшафтной зоны является ее значительная заболоченность. Болотные воды по ионному составу HCO_3 или $\text{HCO}_3\text{-SO}_4$, Ca и Ca-Mg, реже Mg-Ca-Na. Воды болот (табл. 1) являются ультрапресными и пресными (минерализация колеблется от 3 до 214 мг/л), кислыми и слабокислыми, реже околонеutralными (рН составляет 3.1 – 7.5). Воды верховых болот являются

наиболее пресными (средняя минерализация 20 мг/л) и кислыми (средние значения $\text{pH}=4.4$). Средняя минерализация низинных болот составляет 40, максимальная – 214 мг/л, $\text{pH}=5.5$. Основной причиной высокой кислотности болотных вод в гумидных ландшафтах является доминирование в них органических кислот [14]. Содержание растворенного органического вещества в пересчете на $\text{C}_{\text{орг}}$ составляет от 8-108 в низинных болотах до 20-286 мг/л в верховых.

Несмотря на крайне низкую минерализацию болотных вод, в них определяются высокие концентрации микрокомпонентов: Zn, Pb, Cu, As, Sr, Mn и Al, которые образуют устойчивые комплексы с гумусовыми кислотами [2, 3, 5] и таким образом накапливаются в подобных системах. По этой же причине в болотных водах обнаружены значительные концентрации Fe (до 85 мг/л), превышающие их средние содержания в органогенных водах [6].

В пойменных озерах лесной зоны концентрации минеральных веществ, за исключением микрокомпонентов, выше, чем в болотных. Тем не менее, озерные воды ультрапресные, общая минерализация не достигает 0,1 г/л. Это объясняется большей долей слабоминерализованных и более кислых по сравнению с поверхностными водами атмосферных осадков в общем объеме воды озера, что определяет снижение концентрации элементов и значений pH (5.9-7.0).

Лесостепная зона

В отличие от болотных вод лесной зоны, болота лесостепи значительно отличаются более высокими значениями минерализации (в среднем 0.4 г/л) и pH (7.7). Доля минеральных компонентов в общем химическом составе воды по сравнению с органическими значительно увеличивается. Это, прежде всего, связано с увеличением вклада более соленых подземных вод в питание болот, степенью испаряемости и снижением количества осадков. Увеличение минерализации происходит за счет щелочности (252 мг/л) и иона хлора (13 мг/л), а также всех катионов, но особенно магния и натрия. Максимальные значения приурочены к южной части ландшафтной зоны (105 и 120 мг/л, соответственно) при минерализации 1 г/л. Хотя количество органического углерода в болотах лесостепи уменьшается, тем не менее, его значения существенно выше, чем в озерах данной зоны. То есть, в болотных системах, несмотря на изменения климатических условий, существует местный микроклимат, который отражается в значительном количестве разлагающихся органических веществ (до 70 мг/л $\text{C}_{\text{орг}}$). Именно поэтому озерные воды лесостепи коренным образом отличаются от озер лесной зоны. Значения pH озер составляют в среднем 7.9, а минерализация возрастает до 1 г/л, то есть на два порядка по сравнению с лесной зоной. Наиболее значимыми анионами остаются HCO^- и CO_3^{2-} (6.7 г/л), в то время как среди катионов преобладает натрий (до 156 мг/л).

Здесь развиты наиболее благоприятные условия для микробиологического разложения растительных остатков, стимулирующего накопление продуктов распада в водных экосистемах [4]. Это является причиной более высоких значений $\text{C}_{\text{орг}}$ в озерных водах этой зоны по сравнению с вышеописанной (до 40 мг/л).

Таблица 1

Значения параметров химического состава болотных и озерных вод различных ландшафтных зон Западной Сибири

	pH	Мин. ¹	CO ₂	Щел. ²	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	C _{орг.}	Si	Sr	Al	Mn	Fe _{об.}	As	Zn	Pb	Cu
		г/л									мг/л							мкг/л		
Лесная зона																				
Верховые болота																				
Мин.	3.1	0.003	3.0	3.0	2.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	19.9	1.0	0.003	0.04	0.010	1.00	0.30	8.0	0.2	0.7
Макс.	6.0	0.07	141.0	43.0	16.5	5.8	13.8	8.4	11.5	4.0	286	11.6	0.100	1.20	0.700	23.00	5.00	250.0	265.0	25.0
Среднее	4.4	0.02	72.1	5.0	4.3	2.0	4.3	1.0	1.4	1.0	79.6	4.2	0.010	0.20	0.030	7.00	1.80	49.5	1.8	2.5
Низинные болота																				
Мин.	4.0	0.01	3.5	3.0	2.0	0.8	1.6	1.0	1.0	1.0	7.50	1.0	0.001	0.30	0.010	1.00	5.00	0.5	0.6	0.6
Макс.	7.6	0.21	154.0	159.0	11.3	20.6	46.0	8.5	8.5	5.2	113	10.2	0.020	0.80	5.900	85.00	54.0	267.0	19.0	706.0
Среднее	5.5	0.04	57.2	17.9	2.5	3.4	6.4	3.0	2.5	2.1	46.9	5.0	0.001	0.50	0.200	16.00	5.70	24.4	2.1	3.6
Озера																				
Мин.	5.9	0.02	3.5	11.2	2.0	0.8	4.0	1.2	0.5	1.5	7.0	0.8	0.0002	н.о.*	н.о.	0.36	5.00	7.7	0.3	0.9
Макс.	7.0	0.07	13.2	48.8	6.0	1.4	10.0	2.4	0.8	4.4	21.6	1.5	0.041	0.60	4.300	1.42	5.30	19.0	2.9	3.0
Среднее	6.5	0.05	7.7	33.3	4.8	1.1	7.5	1.5	0.7	2.8	13.8	1.3	0.001	0.20	1.900	0.80	11.0	10.6	1.1	2.3
Лесостепная зона																				
Низинные болота																				
Мин.	6.2	0.12	27.3	89.1	0.1	3.0	11.0	6.4	1.5	2.1	21.6	1.7	0.05	0.006	0.002	0.07	0.61	2.2	0.2	3.2
Макс.	7.7	1.04	133.0	558.0	170.0	45.5	44.0	105.0	120.0	15.5	69.8	12.4	1.60	0.72	0.07	47.6	3.45	217.0	4.3	20.0
Среднее	6.8	0.40	65.7	252.4	104.0	13.0	26.3	30.7	38.8	5.5	43.5	7.3	0.32	0.23	0.02	8.36	1.58	40.3	0.9	6.9
Озера [11]																				
Мин.	7.5	0.10	-	5787	0.6	22.5	27.3	8.4	12.7	4.1	19.0	0.3	0.270	0.03	0.001	0.01	0.002	10.6	0.3	2.1
Макс.	8.8	1.04	-	12304	325.0	910.0	80.8	75.3	221.0	30.0	39.4	8.5	0.700	0.09	0.020	0.23	0.01	30.7	0.9	5.3
Среднее	7.9	0.25	-	6731	9.5	174.0	33.1	35.4	156.0	14.0	26.5	2.6	0.370	0.04	0.005	0.06	0.003	18.6	0.5	4.5
Степная зона																				
Озера с минерализацией до 3 г/л																				
Мин.	8.8	1.06	н.о.	463.0	87.8	188.0	16.0	32.9	250.0	11.0	-	0.2	0.420	0.01	0.003	0.05	0.01	2.0	0.4	1.0
Макс.	9.6	3.30	4.0	1217	591.0	600.0	32.1	171.0	775.0	23.0	-	4.1	2.300	0.05	0.015	0.42	0.07	1000	4.2	40.0
Среднее	9.1	1.95	1.2	733.0	285.0	401.0	25.4	87.7	460.0	18.0	-	3.0	0.970	0.04	0.010	0.20	0.03	291.0	1.7	11.0
Озера с минерализацией 10-100 г/л																				
Мин.	8.5	14.0	0.4	241.0	1728	3674	-	43.7	4670	42.0	114.0	0.001	0.460	0.002	0.002	0.03	0.03	54.0	3.3	220.0
Макс.	9.9	94.0	8.8	58920	17784	43500	32.7	4982	27260	294.0	477.0	42.0	11.000	1.30	0.050	20.00	1.10	350.0	610.0	1000
Среднее	9.4	48.0	3.5	13729	8125	15243	13.9	1277	14515	145.0	296.0	15.6	2.990	0.29	0.020	6.29	0.32	137.0	130.0	408.0
Озера с минерализацией более 100 г/л																				
Мин.	7.2	101.0	н.о.	488.0	5208	21950	6.9	30.6	33000	20.0	76.0	0.2	0.830	н.о.	0.001	0.05	0.02	9.0	0.4	22.0
Макс.	9.8	369.0	255.2	39240	97224	190400	993.0	38796	116500	561.0	599.0	54.0	20.900	2.30	1.000	79.00	1.30	1400	870.0	1200
Среднее	8.1	254.0	70.4	5410	39178	118927	220.0	12044	76144	257.0	307.0	18.5	6.880	0.40	0.260	15.90	0.45	556.0	141.0	375.0

1 - общая минерализация; 2 - щелочность; * - не определялось; **н.о. - не обнаружено;

Резкое изменение типа почв, геологических условий и гидроклиматических параметров отражается в микрокомпонентном составе вод, а именно в высоких концентрациях Pb, Zn и Sr. И наоборот, содержания Fe уменьшаются по сравнению с лесной зоной до 0.2 мг/л.

Степная зона

Преобладающим анионом в большинстве озер степной зоны является хлор, его содержание меняется от 0.2 до 190 г/л, на втором месте сульфат-ион (от 0.1 до 96 г/л). Содержание карбонат-ионов варьирует от 0.05 до 0.7 г/л, гидрокарбонатов – от 0.1 до 3.5 г/л. Карбонаты доминируют в маломинерализованных озерных водах при сумме растворенных компонентов не выше 40 г/л и значении $\text{pH} > 9.0$. С ростом минерализации и снижением pH анионный состав меняется на хлоридный. При этом рост содержания хлоридов существенно опережает рост сульфатов, содержание последних в различных озерах варьирует от 0.1 до 65 г/л [10].

В составе катионов доминирующим является натрий, его средние концентрации составляют 60 г/л. Вторым по значимости (вслед за натрием) выступает магний с концентрациями от 30 мг/л до 38.8 г/л. Содержание калия составляет от 11 до 700 мг/л. Отставание в накоплении в водах кальция и карбонатного комплекса $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3^{2-}$ объясняется образованием кальцита на ранних стадиях эволюции вод [7, 10]. В озерах степной зоны высоки концентрации K, Si (до 21 мг/л), Al (330 мг/л), Mn (до 423 мг/л), Sr (до 21 мг/л).

Выводы

Приведенный выше сравнительный анализ состава поверхностных вод различных ландшафтных зон выявил их геохимическую специфику, заключающуюся, прежде всего, в различной степени их минерализации, разном составе, комплексе химических элементов и характере среды.

Химический состав исследованных объектов формируется, прежде всего, за счет водообмена, образующегося в определенных климатических условиях, который приводит либо к выносу, либо к концентрации элементов возерных и болотных системах. Кроме того, формирование различных комплексов микрокомпонентов (Fe, Mn, Al, Zn, Pb, Cu, As, Sr и др.) с органическим веществом обеспечивает их накопление в воде. Эти процессы являются более интенсивными в лесных и лесостепных ландшафтах в сравнении со степной зоной, где образование вторичных минералов является основным фактором, определяющим снижение концентраций элементов (Ca, HCO_3 , SO_4 , Ba, B и т.д.) в воде.

Исследование озерных вод в 2013-2014 г. проведено за счет средств гранта РФФИ № 13-05-00556, результаты 2015 г. получены за счет средств гранта Российского Научного Фонда (Проект № 15-17-10003).

Литература

1. Добровольский Г.В., Сергеев Е.М., Герасимова А.С. Природные условия центральной части Западно-Сибирской равнины. М.: Изд-во МГУ, 1977. - 363 с.
2. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. - 677 с.
3. Г.А. Леонова, В.А. Бобров, А.А. Богуш, В.А. Бычинский, Г.Н. Аношин Геохимическая характеристика современного состояния соляных озер Алтайского края // Геохимия, 2007. №10. С. 1114-1128.
4. Moiseenko, T. I., Gashkina, N. A., Dinu, M. I., Kremleva, T. A. & Khoroshavin, V. Yu. (2013). Aquatic Geochemistry of Small Lakes: Effects of Environment Changes. *Geochemistry International*, 51(13), 1031–1148.

5. Новикова С.П., Гаськова О.Л. Влияние природных фульвокислот на растворимость сульфидных руд (экспериментальное изучение) // Геология и геофизика, 2013.- 54.- 5.- 665-675.
6. Шварцев С.Л., Колпакова М.Н., Исупов В.П., Владимиров А.Г., Ариунбилэг С. Геохимия и формирование состава соленых озер Западной Монголии // Геохимия. 2014. №5. С. 432-449.
7. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. 2-е изд., испр. и доп. М.: Недра, 1998. 366 с.
8. Catalan, J., & Fee, E. J. (1994). Interannual variability in limnic ecosystems: Origin, patterns, and predictability. *Limnology Now*, 81-97.
9. Feuchtmayr H., Moran R., Hatton K., Connor L., Heyes T., Moss B. & Atkinson D. (2009). Global warming and eutrophication: Effects on water chemistry and autotrophic communities in experimental hypertrophic shallow lake mesocosms. *Journal of Applied Ecology*, 46(3), 713-723.
10. Колпакова М.Н., Борзенко С.В., Исупов В.П., Шацкая С.С., Шварцев С.Л. Гидрохимия и геохимическая типизация соленых озер степной части Алтайского края // Вода: химия и экология. 2015. No 1. с. 11-16.
11. Moiseenko, T. I., Skjelkvåle, B. L., Gashkina, N. A., Shalabodov, A. D. & Khoroshavin, V. Y. (2013b). Water chemistry in small lakes along a transect from boreal to arid ecoregions in European Russia: Effects of air pollution and climate change. *Applied Geochemistry*, 28, 69-79.
12. Müller, B., Lotter, A. F., Sturm, M. & Ammann, A. (1998). Influence of catchment quality and altitude on the water and sediment composition of 68 small lakes in Central Europe. *Aquatic Sciences*, 60(4), 316-337.
13. Naymushina, O. S., Shvartsev, S. L., Zdvizhkov, M. A. & El-Shinawi, A. (2010). Chemical characteristics of swamp waters: A case study in the Tom River basin, Russia. Paper presented at the *Water-Rock Interaction - Proceedings of the 13th International Conference on Water-Rock Interaction, WRI-13*, 955-958.
14. Naymushina, O., Shvartsev, S. & Ses, K. (2014). Hydrochemistry and composition of hydrocarbons in the waters of peatlands in Western Siberia. *IERI Procedia*, 8, 119-124.

МИНЕРАЛЬНЫЕ УГЛЕКИСЛЫЕ ВОДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЯМКУН (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

А.И. Оргильянов, И.Г. Крюкова, П.С. Бадминов

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры
Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия, E-mail: irig@crust.irk.ru**

Аннотация. В статье рассмотрены условия формирования химического и газового состава минеральных углекислых термальных вод Ямкун и приведены результаты исследований. Источником растворенных веществ минеральной воды являются вмещающие карбонатные породы, а углекислый газ имеет термометаморфическое происхождение. При разгрузке минеральной воды на поверхность, в результате изменения физико-химического равновесия происходит отложение вторичных минералов (травертинов), в основном, в виде карбоната кальция.

Abstract. In the article the conditions of formation of chemical and gas composition of thermal carboniterous mineral waters from Yamkun was considered and the results of investigations was illustrated. The source of dissolved substances of mineral waters is the carbonate rocks, and the carbon dioxide has a thermometamorphic genesis. In the process of discharge of mineral water the precipitation of secondary minerals (travertines, mainly calcium carbonates) takes place. This connected with changes of physic-chemical balance.

Месторождение минеральных вод Ямкун находится в Газимуро-Заводском районе Забайкальского края приурочено к Газимурскому глубинному разлому, который является ответвлением Монголо-Охотского структурного шва и имеет северо-восточное простирание. В пределах месторождения развиты известняки и доломиты быстринской свиты нижнего кембрия, перекрытые сверху маломощными четвертичными отложениями. Очаг разгрузки минеральных вод находится на